

Основы холодильной техники



Предисловие

Данное пособие должно рассматриваться как дополнение к большому списку литературы по холодильной технике, выпущенной к настоящему времени, которое предназначено для читателей, имеющих отношение к холодильному промышленному и торговому оборудованию, например, техникам по эксплуатации холодильных установок и специалистам монтажных организаций.

Содержание данной книги представляет интерес также для тех, кто не связан с холодильными установками, но хочет расширить свои знания основных принципов работы приборов, которые он видит каждый день.

При подготовке материала для книги была сделана попытка привести полное описание элементарных основ холодильной техники и объяснить их простым языком специалиста-практика.



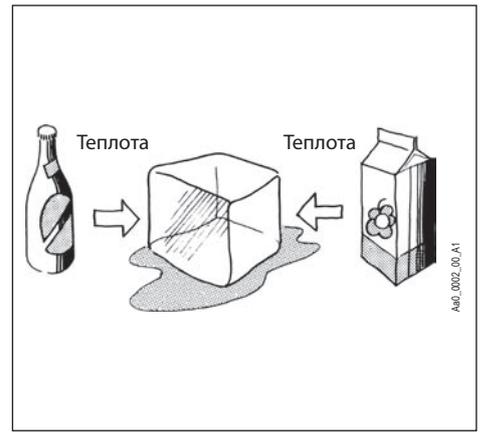
Содержание

1. Введение	4
2. Основные термины и определения	5
2.1 Система единиц СИ	5
2.2 Давление	5
2.3 Теплота	6
2.4 Фазовые изменения вещества	7
2.6 Перегрев	8
2.7 Конденсация	8
2.8 Диаграмма «температура-энтальпия»	9
2.9 Диаграмма «давление-энтальпия»	9
3. Холодильный контур	10
3.1 Испаритель	10
3.2 Компрессор	10
3.3 Принцип работы компрессора	10
3.4 Конденсатор	11
3.5 Процесс расширения	11
3.6 Стороны высокого и низкого давления холодильной установки	11
4. Процесс охлаждения. Диаграмма «давление-энтальпия»	12
5. Хладагенты	13
5.1 Общие требования	13
5.2 Фторсодержащие хладагенты	13
5.3 Аммиак NH ₃	13
5.4 Вторичные хладагенты	13
6. Основные компоненты холодильной установки	14
6.1 Компрессор	14
6.2 Конденсатор	14
6.3 Расширительный вентиль	16
6.4 Испарительные системы	17
7. Схема холодильной установки	18

1. Введение

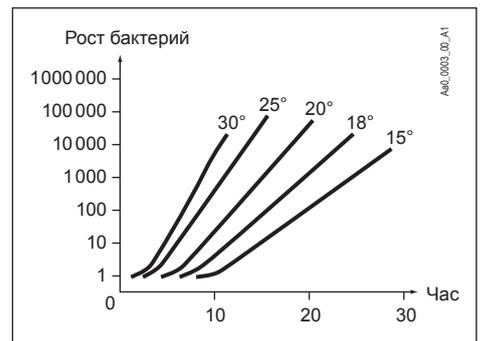
Задача холодильной установки — охладить продукты или материалы до температуры, которая ниже температуры окружающего воздуха, и поддерживать ее на этом уровне. Охлаждение, таким образом, можно определить как процесс отвода теплоты.

Самыми старыми и хорошо известными холодильными агентами являются лед, вода и воздух. С древнейших времен единственной целью охлаждения было сохранить пищу. Китайцы были первыми людьми, которые обнаружили, что лед продлевает срок хранения напитков и улучшает их вкус, а эскимосы столетиями консервировали пищу, замораживая ее.



В начале 18-го века широко были известны такие понятия, как бактерии, грибки, плесень, ферменты и т.п. Было обнаружено, что рост числа микроорганизмов зависит от температуры, т.е. он падает с понижением температуры и становится незначительным при температуре ниже +10°C.

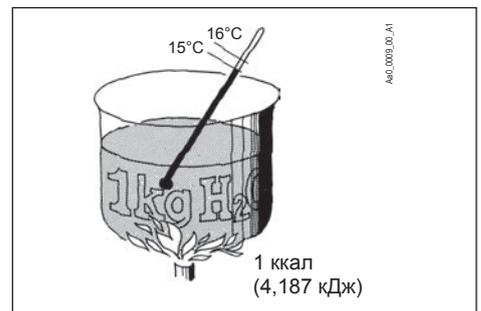
В результате этого знания для сохранения пищи стали применять охлаждение и для этой цели стали использовать естественный лед.



Первые механические холодильные установки для производства льда появились в 1860 году. В 1880 году в США были созданы первые аммиачные компрессоры и теплоизолированные склады-холодильники.

В начале прошлого столетия начало играть большую роль электричество, и механические холодильные установки стали применяться во многих отраслях хозяйства, например, при изготовлении напитков, на скотобойнях, в рыбной промышленности, при производстве льда и т.д.

После Второй мировой войны широкое развитие получили небольшие герметичные компрессоры, и в домах стали появляться хо-

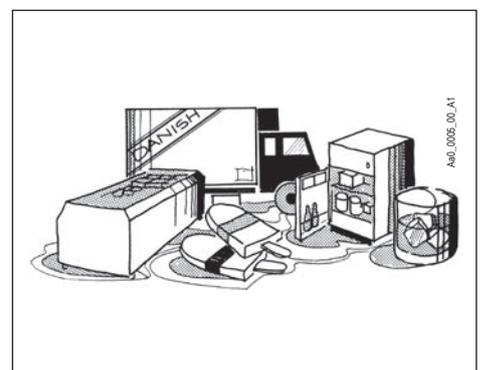


лодильники и морозильники. Сегодня к этим приборам относятся, как к естественной необходимости.

В настоящее время холодильные установки имеют бесчисленное множество применений, например:

- хранение продуктов,
- охлаждение по ходу технологического процесса,
- кондиционирование воздуха,
- осушительные установки,
- производство пресной воды,
- охлаждаемые контейнеры,
- тепловые насосы,
- производство льда,
- сублимационная сушка и т.д.

Фактически, нашу жизнь трудно представить без охлаждения и замораживания — они влияют на нее гораздо больше, чем думает большинство людей.



2. Основные термины и определения

2.1 Система единиц СИ

На международном уровне достигнуто соглашение об использовании системы единиц СИ (Международная система единиц), которая заменила метрическую систему единиц.

Чтобы эта система полностью внедрилась в холодильную промышленность, потребуется некоторое время, но поскольку многие промышленно развитые страны разрабатывают стандарты для холодильного оборудования и соответствующее законодательство, они все должны привыкнуть к повседневному использованию этой системы единиц.

Чтобы облегчить переход от метрической системы единиц к системе СИ, компания Данфосс использует метрическую систему и в скобках указывает значение данных величин в системе СИ. Этот метод используется в тексте всей книги.

Наименование	Метрическая система	Система единиц СИ
Температура	°C	K, °C
Сила	килограмм силы (кГ)	Ньютон (Н)
Давление	ат, атм, ата, ато, мм рт. ст.	Паскаль (Па) бар
Работа и энергия	кГ·м ккал	Джоуль (Дж)
Мощность	л. с. ккал/ч	Ватт (Вт)
Энтальпия	ккал/кг	Дж/кг

2.2 Давление

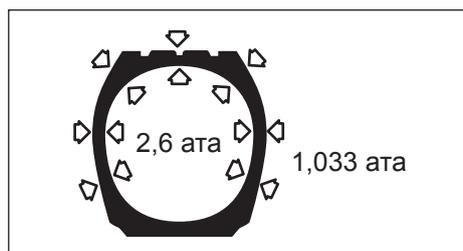
Результат действия силы на поверхность зависит от площади этой поверхности. В качестве очевидного примера можно привести человека, стоящего на лыжах и не проваливающегося глубоко. Это происходит потому, что лыжи распределяют вес человека на большую площадь и его вес на единицу площади снежной поверхности становится незначительным.

Давление определяется как отношение силы к площади поверхности, на которую действует эта сила. Давление измеряется в различных единицах в зависимости от цели измерения. В метрической системе наиболее часто употребляется единица давления Г/см² (кг/см²). В сокращенном виде она обозначается как ат (at) и означает одну техническую атмосферу.



Давление воздуха при нормальных условиях составляет 1,033 кг/см² и означает одну физическую атмосферу, в сокращенном виде атм (atm). В зависимости от того, что принимается за нулевую точку, получаются различные единицы давления. Если за нулевую точку принят абсолютный вакуум, единицы давления обозначаются как ата (ata), где «а» означает абсолютное давление.

Эти единицы наиболее часто используются в холодильной технике. На манометрах обычно ставится единица измерения атм ман. (ato) — манометрическое давление. Здесь отсчитывается избыточное давление и за нулевую точку берется физическая атмосфера (1 атм, или 1,033 ата).

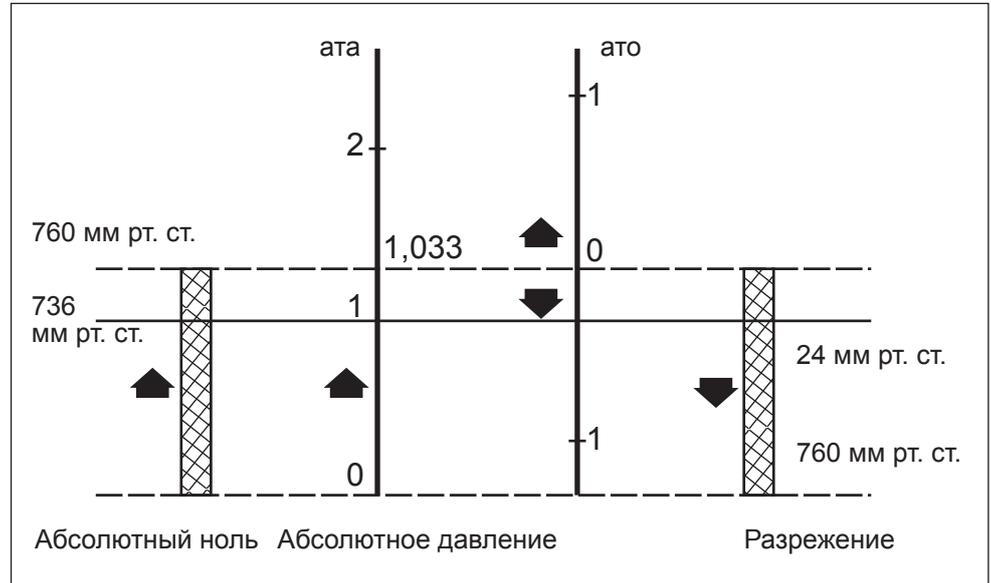


Другой, часто встречающейся единицей измерения давления, является мм ртутного столба, сокращенно мм рт. ст. (mm Hg) Давление воздуха при нормальных условиях равно 760 мм рт. ст. и соответствует 1 атм или 1,033 ата.

Наконец, для измерения давления в гидравлических контурах часто используется единица «метр водного столба», сокращенно м вод. ст. (m wg). 10 м вод. ст. соответствуют 1 ата; 10,33 м вод. ст. соответствуют 1 атм.

Единицей измерения давления в системе СИ служит Ньютон/м², также называемый Паскаль (Па). Поскольку эта единица представляет

очень небольшое давление по сравнению с теми, которые используются, например, в холодильной технике, вместо нее употребляется единица давления 1 бар = 10⁵ Па. Так удачно сложилось, что 1 ат = 0,9807 бар ≈ 1 бар. Поэтому на практике для измерения давлений стало возможным использовать обе этих системы: международную и метрическую.



2.3 Теплота

Теплота — это одна из форм существования энергии, которую нельзя наблюдать. Заметно только ее влияние на вещество и измерением степени этого влияния можно определить количество теплоты.

Единицей измерения количества теплоты в метрической системе единиц служит калория (кал), которая определяется как количество теплоты, необходимое для увеличения температуры 1 г воды от 15 до 16°C. В холодильной технике обычно используют килокалорию (ккал), которая равна 1000 калорий.

В системе СИ все виды работы, включая теплоту и энергию, измеряются в Джоулях (Дж). Перевод из метрической системы в систему СИ показывает, что:

$$1 \text{ кал} = 4,187 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ ккал} = 4,187 \text{ кДж}$$

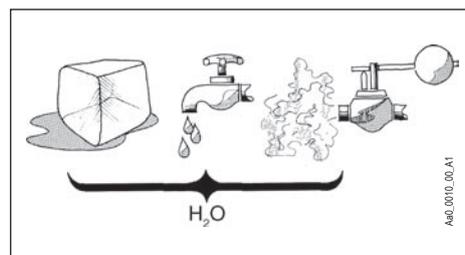
Для увеличения температуры различных веществ на 1°C необходимо различное ко-



личество теплоты: для 1 кг железа требуется 0,114 ккал, а для 1 кг воздуха — 0,24 ккал. Количество теплоты, необходимое для увеличения температуры 1 кг вещества на 1°C, называется теплоемкостью вещества. Теплоемкость различных веществ определяется по таблицам и измеряется в ккал/(кг·K) или кДж/(кг·K).

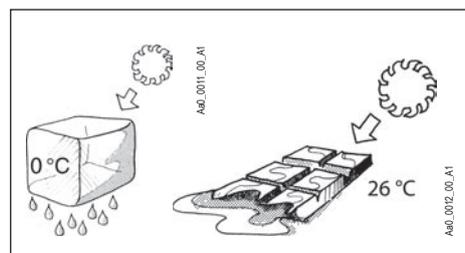
2.4 Фазовые изменения вещества

Каждое вещество может существовать в трех различных формах: твердой, жидкой и газообразной. Наиболее типичным примером этого является вода — в твердой форме она представляет собой лед, в жидкой форме она лежит вокруг нас, а в газообразной форме это пар. Общим для всех этих форм является то, что молекулы воды остаются неизменными, т.е. вода, лед и пар имеют одну и ту же молекулярную формулу, H_2O .



По температуре и давлению вещества можно определить, в какой форме оно находится: в твердой, жидкой или газообразной. Температура, при которой твердое вещество превращается в жидкость, называется точкой плавления. При плавлении вещества его температура не изменяется; вся теплота, подведенная к веществу, идет на превращение вещества из твердого тела в жидкость. Только когда вещество расплавится, дальнейший подвод теплоты приведет к росту его температуры. Различные вещества имеют разные точки плавления. Шоколад, например, плавится при температуре 26°C .

Рассмотрим в качестве примера ледник при начальной температуре -10°C . Получая тепло от окружающей среды и внесенных в нее продуктов, лед в леднике быстро на-

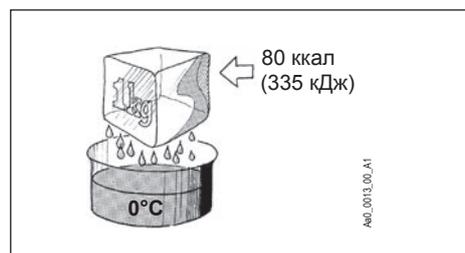


греется до 0°C . Затем лед начнет плавиться, и в течение всего времени его плавления температура льда будет постоянной и равной 0°C . Если в ледник не добавлять свежий лед, плавление постепенно закончится и на дне ледника начнет собираться вода. Температура воздуха в леднике поднимется и достигнет температуры окружающей среды.

Количество теплоты, которое необходимо для плавления вещества, называется теплотой плавления. Она определяется как количество теплоты, необходимое для расплавления 1 кг вещества, которое предварительно подогрето до точки плавления. Если рассматривать воду в качестве примера, то теплота плавления льда составит 80 ккал (335 кДж).

Понимание процессов, которые происходят при фазовых превращениях, крайне важно, поскольку:

- фазовые превращения происходят при постоянной температуре,
- фазовые превращения требуют подвода сравнительно большого количества теплоты на 1 кг вещества.

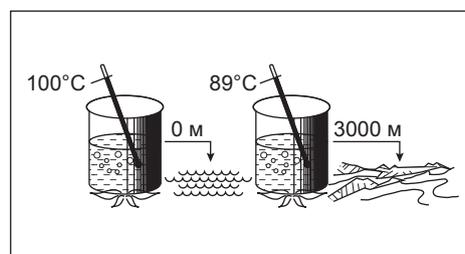


2.5 Теплота испарения

Поскольку поведение воды легко наблюдать и поскольку она ведет себя так же, как большинство хладагентов, возьмем ее в качестве примера.

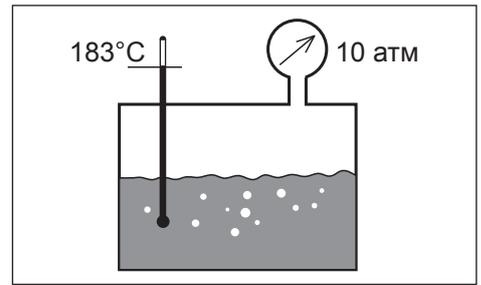
При нагревании воды ее температура плавно растет, пока вода не начнет кипеть. Точка, или температура кипения воды зависит от давления, при котором находится вода. В открытом сосуде при нормальном атмосферном давлении на уровне моря, равном 760 мм рт. ст., вода кипит при температуре 100°C .

Если давление опустится ниже атмосферного, температура кипения станет мень-



ше 100°C . Например, при давлении 531 мм рт. ст. (что эквивалентно высоте 3000 м над уровнем моря) температура кипения воды равна 89°C .

В закрытых сосудах температура кипения определяется давлением пара. Если давление пара выше 760 мм рт. ст., точка кипения будет больше 100°C. Например, при давлении на 1 ат выше атмосферного точка кипения воды равна 120°C, а при давлении на 10 ат выше атмосферного точка кипения равна 183°C. Этот принцип повышения температуры кипения при повышении давления используется в скороварках.



Вода при температуре кипения называется насыщенной жидкостью и, соответственно, температура кипения воды называется температурой насыщения. При разных давлениях вода имеет свою температуру кипения, или насыщения, значения которых приведены в таблице.

Давление, ата	Температура, °С
0,2	60
0,4	75
0,6	86
0,8	93
1,0	99

Давление, ата	Температура, °С
2,0	120
4,0	143
6,0	158
8,0	170
10,0	179

Количество теплоты, которое необходимо для кипения вещества, называется теплотой испарения. При атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) количество теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг воды при температуре 100°C в пар с температурой 100°C, равно 530 ккал (2260 кДж). В этом случае образуется 1 кг сухого насыщенного пара. Если будет подведено меньшее количество тепла, только часть жидкости превратится в пар, и в результате получится смесь, состоящая из насыщенной жидкости и насыщенного пара.

Теплота испарения также называется скрытой теплотой испарения или парообразования, т.е. теплотой, которая может быть подведена к веществу без изменения его температуры. В противоположность ей теплоту, которую подводят или отводят от вещества, когда его температура лежит выше или ниже точки кипения или плавления, называют «сухой» теплотой, или энтальпией.

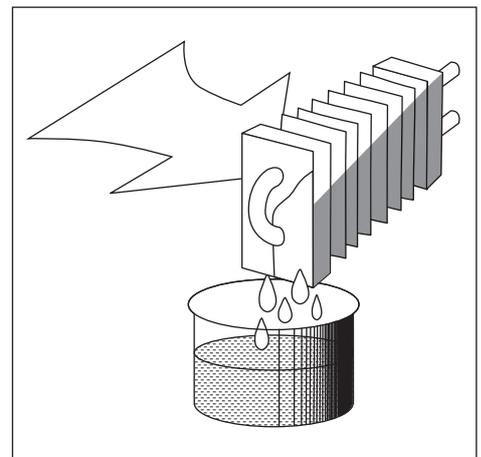
2.6 Перегрев

При подводе теплоты к насыщенному пару мы получим перегретый пар, этот процесс мы будем называть перегревом. Поскольку фазовый переход уже произошел, подводимая теплота будет сухой теплотой, а температура пара в процессе подвода тепла

будет повышаться. При переходе вещества от жидкой фазы к газообразной его теплоемкость изменяется. Например, чтобы нагреть 1 кг пара на 1°C требуется только 0,45 ккал (1,9 кДж), а чтобы нагреть 1 кг воды на ту же температуру требуется 1 ккал (4,187 кДж).

2.7 Конденсация

Конденсацией называется процесс перехода пара в жидкость, т.е. процесс, обратный превращению жидкости в пар. Вместо того, чтобы подвести к жидкости некоторое количество теплоты, в этом случае то же количество теплоты необходимо отвести от пара. Температура, при которой происходит конденсация, также зависит от давления.

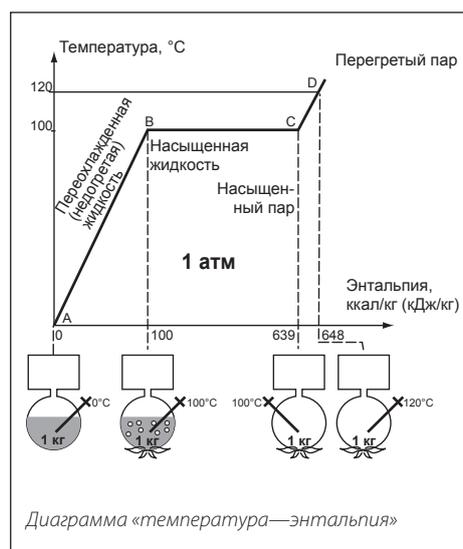


2.8 Диаграмма «температура-энтальпия»

Характеристики вещества можно изобразить в виде графика зависимости его температуры от энтальпии, где абсциссой является энтальпия, а ординатой — температура. Энтальпию часто называют теплосодержанием среды, т.е. суммой энергии, подведенной к среде. Для простоты, в качестве среды рассмотрим воду при атмосферном давлении.

Диаграмма начинается при температуре воды 0°C , где энтальпия воды также равна 0 ккал/кг. Подвод сухой теплоты заставляет воду дойти до точки фазового перехода B , лежащей на линии $A-B$ (до температуры кипения воды). Разность между точками A и B соответствует повышению температуры воды от 0 до 100°C . Как было сказано ранее, на повышение температуры воды на каждый градус необходимо 1 ккал ($4,187$ кДж) тепла, т.е. общее количество подводимого к воде тепла должно составлять 100 ккал. Таким образом, теплосодержание (энтальпия) воды должно быть равно 100 ккал/кг ($418,7$ Дж/кг).

Линия $B-C$ соответствует скрытой теплоте парообразования (теплоте испарения), которая необходима для перевода 1 кг воды (от точки B) в сухой насыщенный пар (в точку C). Теплота испарения воды при атмосферном давлении составляет, как было отмечено ранее, 539 ккал/кг, а энтальпия воды в точке C должна быть равна сумме теплоты, подведенной к воде, т.е. $100+539=639$ ккал/кг. Важно



помнить что при переходе от точки B к точке C температура воды не изменяется.

Линия $C-D$ показывает влияние подвода сухой теплоты на температуру пара, т.е. перегрев пара. Удельная теплоемкость пара равна $0,45$ ккал/кг ($1,88$ кДж/кг). В данном примере температура пара поднялась на 20°C , для чего потребовалось $20 \cdot 0,45=9$ ккал/кг теплоты. Энтальпия, определяемая как сумма подведенной к воде теплоты, в этом случае будет равна $639+9=648$ ккал/кг.

2.9 Диаграмма «давление-энтальпия»

Как было показано ранее, связь между температурой и энтальпией зависит от давления, и в разделе 2.8 в качестве примера приведен график «температура—энтальпия» для воды при давлении 1 атм. Однако, для того, чтобы получить полную зависимость температуры от энтальпии, необходимо построить графики для всех возможных давлений. Поскольку это явно непрактично, более удобно использовать диаграмму зависимости давления от энтальпии. Диаграмма показана на рисунке внизу. В качестве ординаты, как правило, в виде логарифмической шкалы, выбрано давление. В холодильной технике работают с разными давлениями и температурами, и данная диаграмма предлагает практический способ определения изменения энергии в процессах теплообмена, происходящих в холодильных установках.



3. Холодильный контур

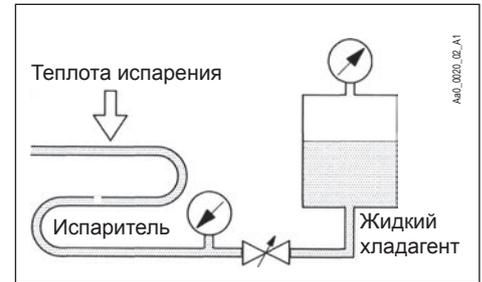
Физические термины, использованные ниже для описания процессов охлаждения, связаны с вышеупомянутыми примерами, хотя в практических целях вода в качестве хладагента (хладагента) не используется.

На рисунке внизу приведена схема простого холодильного контура. Далее приведены описания его отдельных компонентов.

3.1 Испаритель

При кипении жидкий хладагент поглощает тепло, т.е. процесс охлаждения связан с фазовым переходом жидкости в пар. Если хладагент, находящийся при той же температуре, что и окружающий воздух, выходит через шланг наружу в окружающее пространство с атмосферным давлением, тепло будет отбираться у воздуха и кипение будет происходить при температуре, соответствующей атмосферному давлению.

Если давление на выходе из шланга (атмосферное давление) изменится, изменится и температура кипения хладагента, поскольку температура кипения зависит от давления.



Агрегат, в котором происходит кипение хладагента, называется испарителем; его задача — отбирать тепло у окружающей среды, т.е. осуществлять охлаждение.

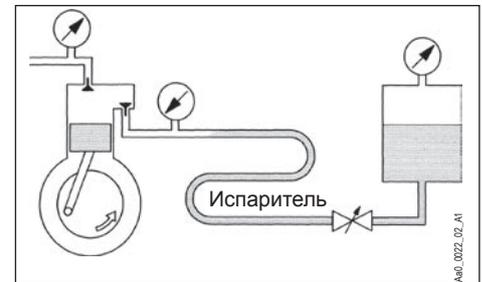
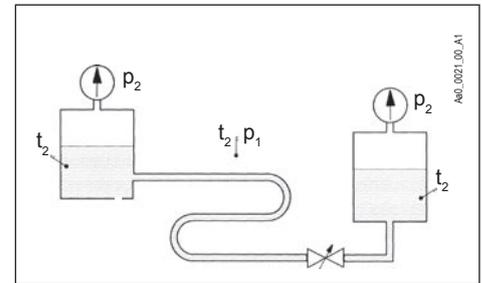
3.2 Компрессор

Подразумевается, что процесс охлаждения происходит в замкнутом пространстве (в холодильном контуре). Хладагент не должен выходить на открытый воздух.

Если хладагент из испарителя поступает в бак, давление в баке начнет расти, пока не сравняется с давлением в испарителе. Таким образом, расход хладагента будет уменьшаться, а температура как в баке, так и в испарителе начнет постепенно приближаться к температуре окружающего воздуха.

Для того, чтобы поддерживать низкое давление и соответствующую ему низкую температуру хладагента в испарителе, из последнего необходимо постоянно удалять пар. Это делается с помощью компрессора, который всасывает пар, выходящий из испарителя. Другими словами, компрессор можно сравнить с насосом, который перемещает пар в холодильном контуре.

В замкнутом контуре господствует принцип равновесия. Если компрессор будет всасывать газ быстрее, чем он образуется в испарителе, давление, и вместе с ним температура в испарителе будут падать. Наоборот, если



тепловая нагрузка на испаритель возрастет и хладагент будет испаряться быстрее, давление, а вместе с ним температура в испарителе будут расти.

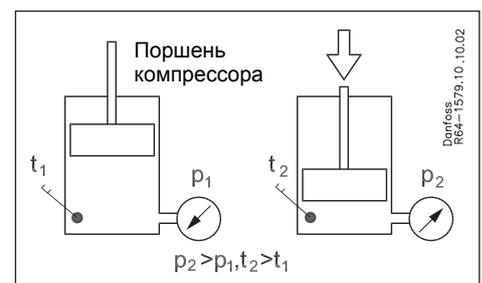
3.3 Принцип работы компрессора

Хладагент покидает испаритель в виде насыщенного или слабо перегретого пара и поступает в компрессор, где сжимается. Процесс сжатия осуществляется так же, как в бензиновом двигателе, т.е. при помощи поршня.

Компрессор потребляет энергию и производит работу. Эта работа передается парам хладагента; она называется работой сжатия.

Благодаря работе сжатия пар выходит из компрессора при другом давлении, а дополнительная энергия идет на перегрев пара.

Работа сжатия зависит от давления и температуры хладагента в системе. Конечно, при сжатии 1 кг пара при давлении 10 ат (бар)

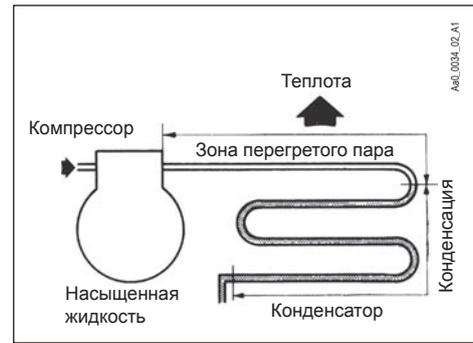


требуется совершить большую работу, чем при сжатии того же количества пара при 5 ат (бар).

3.4 Конденсатор

Хладагент отдает полученную теплоту в конденсаторе, где она передается окружающей среде, имеющей более низкую температуру. Количество отданной теплоты равно сумме количества теплоты, полученной хладагентом в испарителе, и теплоты, выделившейся при совершении работы сжатия.

Среда, воспринимающая теплоту, может быть воздухом или водой; единственное требование, которое должно выполняться, это то, что температура среды должна быть меньше температуры, которая соответствует давлению конденсации. Процесс фазового перехода, который происходит в конденсаторе, можно сравнить с процессом, происходящим в испарителе, за исключением

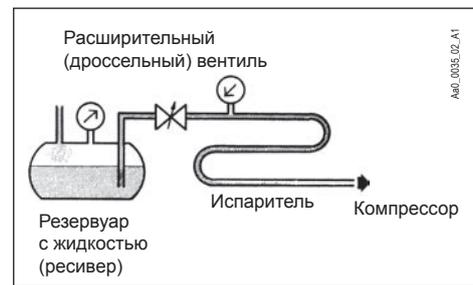


того, что он имеет противоположный «знак», т.е. здесь осуществляется фазовый переход от пара к жидкости.

3.5 Процесс расширения

Жидкость из конденсатора поступает в сборный резервуар, или ресивер. Он может быть соединен с емкостью, описанной в разделе 3.1, т.е. с испарителем.

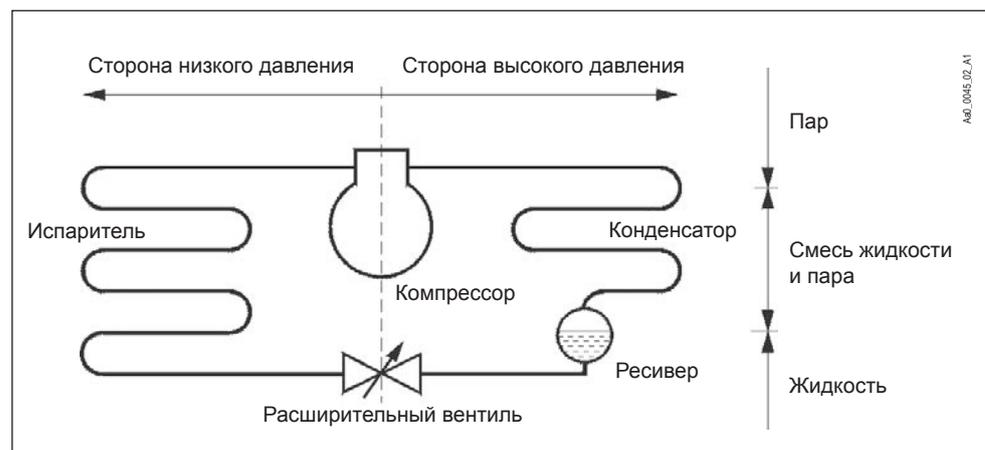
Давление в ресивере намного больше, чем в испарителе благодаря сжатию пара, которое происходит в компрессоре. Для того, чтобы снизить давление до уровня, соответствующего давлению кипения в испарителе, за ресивером необходимо установить устройство, которое осуществляет этот процесс, так называемый процесс дросселирования или расширения. Это устройство называется дросселирующим или расширительным устройством. Как правило, его роль играет вентиль, который называется дроссельным или расширительным вентилем.



Перед расширительным вентилем температура жидкости близка к точке кипения, поэтому при резком понижении давления в вентиле жидкость начинает испаряться или кипеть. Это кипение происходит в испарителе, на котором и замыкается холодильный контур.

3.6 Стороны высокого и низкого давления холодильной установки

В холодильной установке хладагент имеет различную температуру в зависимости от того, в каком состоянии он находится: в виде недогретой жидкости, насыщенной жидкости, насыщенного пара или перегретого пара. Но, в принципе, он имеет два давления: давление кипения и давление конденсации. Таким образом, холодильная установка делится на сторону высокого и низкого давлений, как показано на рисунке, приведенном внизу.



4. Процесс охлаждения.
 Диаграмма «давление-энтальпия»

Параметры сконденсировавшегося хладагента, который находится в ресивере, представлены точкой *A*, которая лежит на линии кипения жидкости. Жидкость имеет температуру t_k (температуру конденсации), давление p_k (давление конденсации) и энтальпию h_0 .

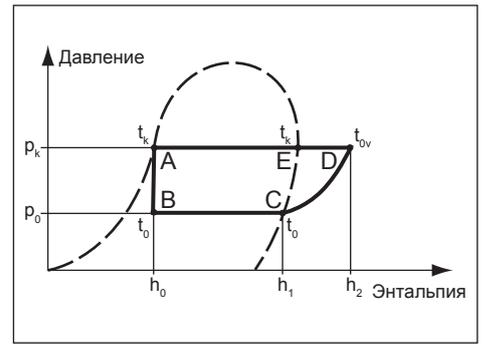
Когда жидкость проходит через расширительный вентиль, ее состояние изменяется от точки *A* к точке *B*. Изменение состояния вызвано кипением жидкости, которое началось, как только давление хладагента при расширении упало до давления p_0 . При падении давления понизилась также температура кипения жидкости t_0 .

За расширительным вентилем, поскольку теплота не подводилась и не отводилась, энтальпия хладагента осталась равной h_0 .

На вход в испаритель поступает смесь пара и жидкости, а на выходе из испарителя получается насыщенный пар (точка *C*). Давление и температура пара остались такими же, как в точке *B*, но энтальпия хладагента изменилась до величины h_1 , поскольку он поглотил тепло из окружающей испаритель среды.

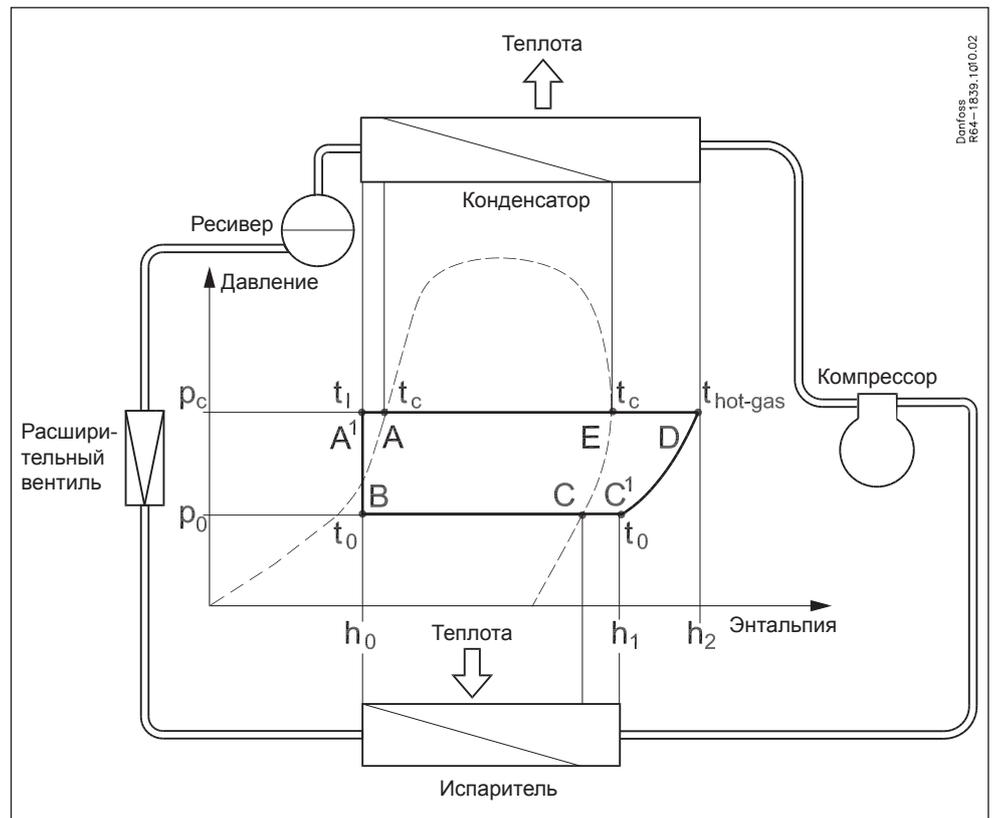
При прохождении хладагента через компрессор его состояние изменяется от точки *C* к точке *D*. Давление пара при этом поднимается до давления конденсации p_k .

Температура пара поднимается до температуры t_{ov} , которая будет выше температуры конденсации t_k , так как пар в этой точке сильно перегрет. Хладагент получил много тепла, и поэтому его энтальпия увеличилась до величины h_2 .



На входе в конденсатор, в точке *D*, получился перегретый пар с давлением p_k . В конденсаторе тепло отводится в окружающую среду, поэтому энтальпия хладагента в точке *A* снова упала до величины h_0 . В конденсаторе сначала произошло изменение состояния хладагента от сильно перегретого пара до насыщенного пара (точка *E*), а затем произошла конденсация насыщенного пара. При переходе от точки *E* до точки *A* температура хладагента (температура конденсации) осталась неизменной, поскольку процессы конденсации и кипения происходят при постоянной температуре.

На практике процесс охлаждения, представленный графиком «давление-энтальпия», немного отличается от описанного выше, поскольку обычно пар, выходящий из испарителя, будет слегка перегрет, а жидкость перед расширительным вентилем будет слегка недогретой вследствие ее теплообмена с окружающей средой.



5. Хладагенты

5.1 Общие требования

При рассмотрении процессов охлаждения вопрос о хладагентах не рассматривался, поскольку основные физические принципы фазового перехода одинаковы для всех веществ.

Однако хорошо известно, что на практике используются различные хладагенты в зависимости от условий эксплуатации холодильных установок и требований, предъявляемым к ним. Наиболее важные факторы, которые должны рассматриваться при выборе хладагентов:

- Хладагент не должен быть ядовитым. Если это требование невозможно выполнить, хладагент должен обладать характерным запахом или содержащий маркировочную добавку, позволяющую быстро обнаружить место утечки.
- Хладагент не должен быть огнеопасным или взрывоопасным. Там, где это требование выполнить невозможно, примите меры предосторожности, описанные в первом пункте.
- При температуре кипения в испарителе давление хладагента должно быть выше атмосферного.
- Чтобы конструкция конденсатора была не слишком тяжелой, давление кон-

денсации не должно быть слишком высоким.

- Теплота испарения хладагента должна быть сравнительно высокой, чтобы передача тепла осуществлялась, по возможности, при небольшом расходе хладагента.
- Пар хладагента не должен иметь слишком высокий удельный объем, поскольку эта величина является определяющей при расчете производительности компрессора.
- Хладагент должен быть химически устойчив при температурах и давлениях, существующих в холодильных установках.
- Хладагент не должен быть агрессивным и не должен, в жидком или газообразном виде, воздействовать на обычные конструкционные материалы.
- Хладагент не должен разрушать смазочное масло.
- Хладагент должен быть легко доступен и не вызывать затруднений при обращении.
- Хладагент не должен быть слишком дорогим.

5.2 Фторсодержащие хладагенты

Фторсодержащие хладагенты имеют обозначение R, стоящее перед номером, например, R22, R134a, R404A и R507C. Они также часто имеют свои торговые названия.

Фторсодержащие хладагенты имеют следующие свойства:

- Их пары имеют слабый запах и не раздражают дыхательных путей.
- Они не ядовиты, за исключением того, что в присутствии огня они могут разлагаться с выделением кислоты и фосгена, которые очень ядовиты.
- Они не агрессивны.
- Они не огнеопасны и не взрывоопасны.

5.3 Аммиак NH₃

Аммиак NH₃ широко используется в больших промышленных холодильных установках. Его температура кипения при атмосферном давлении равна -33°C .

Аммиак имеет характерный запах даже при небольшой концентрации в воздухе. Он

не горит, но взрывается в смеси с воздухом при объемной концентрации 13—28%.

Вследствие коррозии в среде аммиака медь и медные сплавы в аммиачных установках использовать не рекомендуется.

5.4 Вторичные хладагенты

Хладагенты, перечисленные выше, часто называют хладагентами первичного контура. Как промежуточная среда при передаче тепла от окружающего воздуха к испарителю могут

использоваться так называемые вторичные хладоносители, такие как вода, рассолы и атмосферный воздух.

6. Основные компоненты холодильной установки

6.1 Компрессор

Задача компрессора — всасывать пар, выходящий из испарителя, и подавать его в конденсатор. Наиболее общеупотребительные типы компрессоров — это поршневые компрессоры, но получили распространение также и другие типы компрессоров, например, центробежные и винтовые.

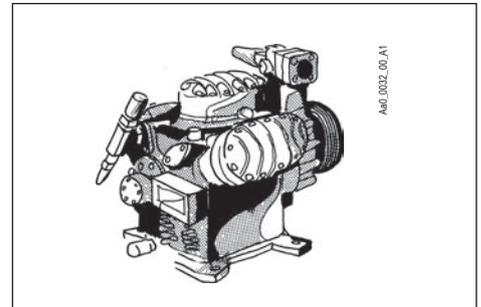
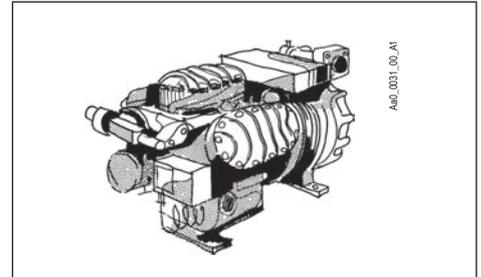
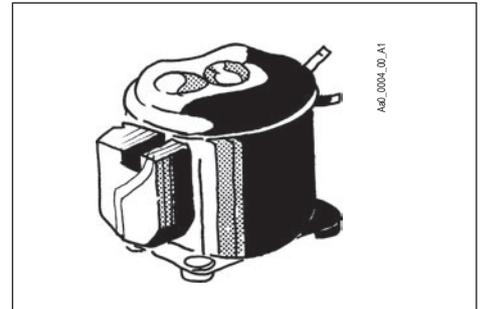
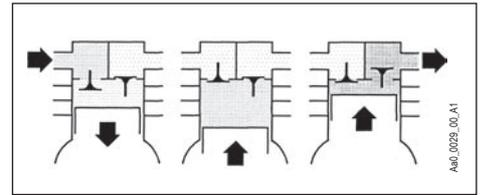
Поршневые компрессоры имеют широкую номенклатуру: от небольших одноцилиндровых моделей для домашних холодильников до 8-ми и 10-ти цилиндровых моделей с большим рабочим объемом для промышленных холодильных установок.

В небольших холодильных установках используются герметичные компрессоры, в которых поршневая группа и электродвигатель объединены вместе и находятся в герметичном корпусе.

В более мощных холодильных установках применяются полугерметичные компрессоры. Их преимущество заключается в том, что они не имеют уплотнений вала, которые трудно менять, когда они начинают течь. Однако эти компрессоры нельзя использовать в аммиачных установках, поскольку аммиак вредно воздействует на обмотки электродвигателя.

Более мощные фреоновые компрессоры и все аммиачные компрессоры выполняются по «открытой» схеме, когда электродвигатель находится вне картера компрессора. Вращательный момент от электродвигателя подается на коленчатый вал компрессора непосредственно или с помощью ременной передачи.

Для установок специального назначения выпускаются безмаслянные компрессоры. Но смазка подшипников и стенок цилиндра мас-



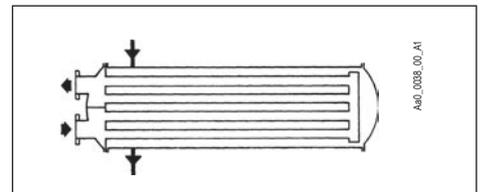
лом обычно производится всегда. В больших компрессорах масло подается к трущимся деталям при помощи масляного насоса.

6.2 Конденсатор

Задача конденсатора — отводить тепло, которое получено хладагентом в испарителе и выделилось при работе компрессора, в окружающую среду. Имеется много типов конденсаторов.

Кожухотрубный конденсатор. Конденсатор этого типа используется в установках, где в качестве охлаждающей среды применяется вода. Он представляет собой горизонтальный цилиндр с приваренными внутри плоскими трубными плитами, в которых закрепляются концы труб. К трубным плитам с помощью болтов приворачиваются торцевые крышки.

Сконденсировавшийся хладагент проходит сквозь цилиндр, охлаждающая вода



течет по трубам. Торцевые крышки разделены при помощи ребер на секции. Эти секции действуют как поворотные камеры, которые заставляют воду циркулировать через конденсатор несколько раз. Как правило, пройдя через конденсатор, вода нагревается на 5—10°C.

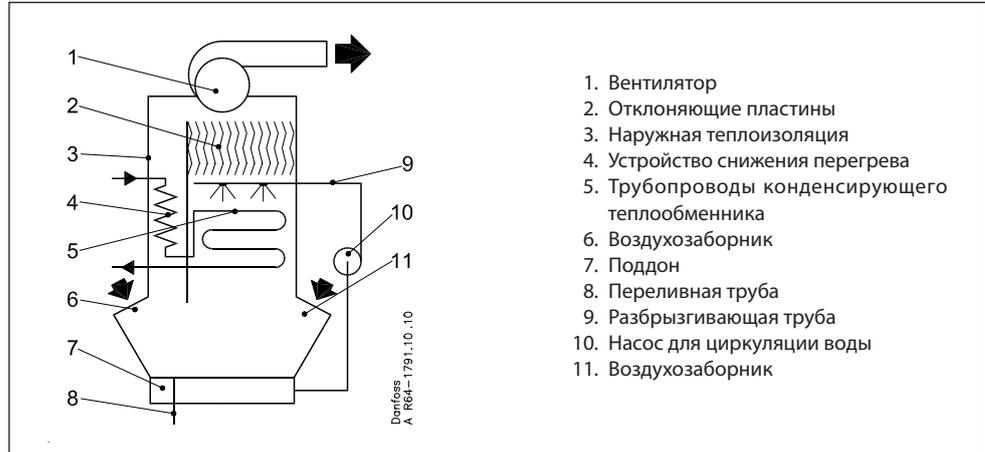
Когда желательно или необходимо уменьшить количество охлаждающей воды, используют так называемый испарительный конденсатор. Этот конденсатор состоит из корпуса, в котором находятся конденсирующей теплообменник, разбрызгивающие трубы, отклоняющие пластины и вентиляторы.

Пары хладагента поступают в верхнюю часть теплообменника, конденсируются там и выходят снизу в виде жидкости.

В верхней части конденсатора находятся разбрызгивающие трубы, которые подают воду на поверхность теплообменника.

Вентиляторы пропускают через теплообменник сильный поток воздуха.

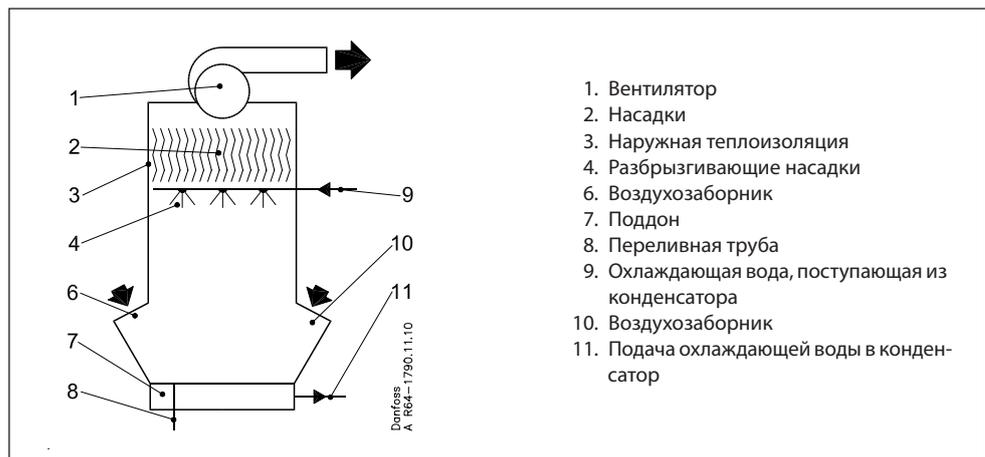
В потоке воздуха часть воды, находящейся на поверхности теплообменника, испаряется, забирая при этом тепло у паров хладагента и заставляя его конденсироваться.



Такой же принцип использования теплоты испарения воды для охлаждения хладагента применяется в градирнях. Градирни используются совместно с кожухотрубными теплообменниками и устанавливаются вблизи компрессора. Вода циркулирует по замкнутому контуру между конденсатором и градирней.

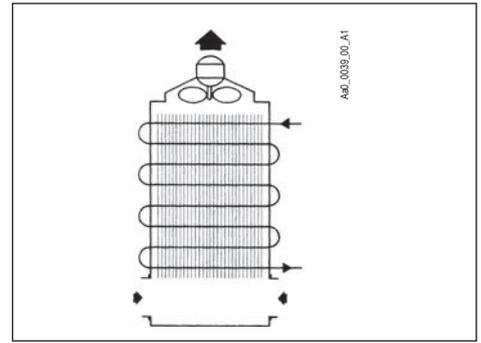
Фактически, градирня работает так же, как и испарительный конденсатор, но вместо

конденсирующего теплообменника здесь используют отклоняющие пластины (насадки). Проходя через градирню и вступая в прямой контакт с каплями воды, падающими вниз, воздух поглощает влагу, испарившуюся из воды. Таким способом охлаждающая вода теряет тепло. Потери воды восполняются подачей в градирню дополнительного количества воды.



Используя в качестве охладителей испарительные конденсаторы и градирни, можно на 90-95% уменьшить расход воды на охлаждение хладагента по сравнению с кожухотрубным конденсатором.

По той или иной причине иногда нет возможности использовать воду для охлаждения хладагента. В таких случаях необходимо применять конденсаторы с воздушным охлаждением. Поскольку воздух имеет худшие теплопередающие характеристики по сравнению с водой, внешняя поверхность труб конденсатора должна иметь большую поверхность. Это достигается путем оребрения труб, что, совместно с вынужденной циркуляцией воздуха, увеличивает производительность конденсатора.



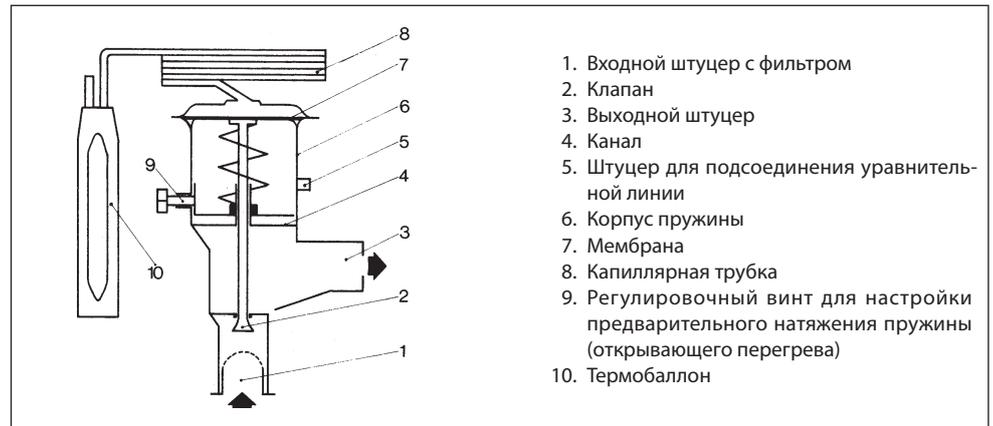
6.3 Расширительный вентиль

Основная цель расширительного вентиля — обеспечить достаточный перепад давления между сторонами высокого и низкого давления установки.

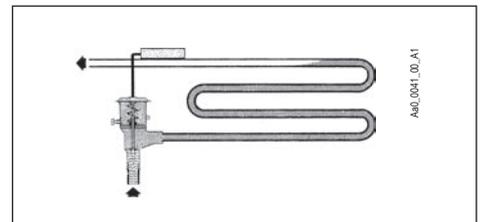
Самым простым способом это достигается при помощи капиллярной трубки, установленной между конденсатором и испарителем.

Однако капиллярные трубки применяют только в небольших и простых ус-

тановках типа домашнего холодильника, поскольку они не могут регулировать количество жидкости, подаваемой в испаритель. С этой задачей способен справиться только терморегулирующий вентиль, который состоит из собственно вентиля, капиллярной трубки и термобаллона. Вентиль устанавливается в линию жидкости, а термобаллон крепится на трубопроводе на выходе из испарителя.



На рисунке внизу показан испаритель с терморегулирующим вентиляем. Часть объема термобаллона занимает небольшое количество жидкого хладагента (наполнитель). Остальная часть баллона, капиллярная трубка и пространство над мембраной в корпусе вентиля заняты насыщенным паром при давлении, соответствующем температуре термобаллона. Пространство под мембраной связано с испарителем и давление в нем, таким образом, равно давлению в испарителе.



Степень открытия вентиля определяется:

- давлением, создаваемым в термобаллоне и действующим на верхнюю поверхность мембраны,
- давлением под мембраной, которое равно давлению испарения,
- силой натяжения пружины, действующей на мембрану снизу.

При нормальной работе установки на некотором расстоянии от входа в испаритель кипение прекращается. Насыщенный пар, проходя через оставшуюся часть испарителя, перегревается. Температура термобаллона, таким образом, будет равна температуре испарения хладагента плюс величина перегрева пара; например, при температуре испарения, равной -10°C , температура термобаллона может быть равна 0°C .

Если в испаритель поступает небольшое количество хладагента, пар будет перегреваться сильнее и температура трубопровода на выходе из испарителя будет расти. Также будет расти и температура термобаллона, а с ней и давление пара в термобаллоне, так как при повышении температуры интенсивность испарения наполнителя увеличивается. При повышении давления мембрана опускается вниз, вентиль открывается и в испаритель поступает большее количество жидкости. Соответственно, при уменьшении температуры термобаллона степень открытия вентиля уменьшается.

Терморегулирующие вентили выпускаются в различных модификациях и, конечно, существуют вентили других типов, но более подробные объяснения только приведут к ненужным усложнениям.

6.4 Испарительные системы

В зависимости от назначения холодильной установки, на испаритель накладываются различные требования, поэтому типы испарителей чрезвычайно разнообразны.

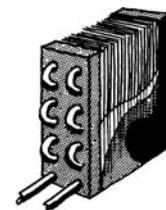
Испарители с естественной циркуляцией воздуха используются все меньше и меньше ввиду незначительного коэффициента теплоотдачи от воздуха к трубам испарителя. Более ранние модели испарителей оснащались простыми трубами, сейчас, в основном, используются оребренные испарители или испарители с ребристыми трубами.

Производительность испарителя сильно увеличивается при использовании вынужденной циркуляции воздуха. С увеличением скорости воздуха интенсивность передачи тепла от воздуха к трубам испарителя увеличивается и для получения заданной холодопроизводительности можно использовать испаритель с меньшей площадью поверхности, чем при естественной циркуляции воздуха.

Для охлаждения жидкости используются жидкостные испарители. Простейший способ охладить жидкость — погрузить трубчатый теплообменник-испаритель в открытый резервуар с жидкостью. В последнее время все больше используются закрытые системы. Здесь используются охладители, аналогичные по конструкции кожухотрубным конденсаторам.



Испаритель с простыми трубами



Оребренный испаритель



Испаритель с ребристыми трубами

7. Схема холодильной установки

На рисунке А показана принципиальная схема холодильной установки, которая обычно используется в магазинах и на рынках.

Компрессорный агрегат холодильной установки можно установить, например, в соседнем с холодильной камерой помещении с хорошей циркуляцией наружного воздуха. Такой агрегат состоит из электродвигателя и компрессора. Обычно на общую раму этого агрегата устанавливают также конденсатор с воздушным охлаждением и ресивер. Для обдува конденсатора и обеспечения заданной холодопроизводительности системы рядом с ним устанавливают вентилятор, сидящий на валу электродвигателя. Линия между компрессором и конденсатором называется линией нагнетания.

От ресивера идет нетеплоизолированный трубопровод, или жидкостная линия, который входит в холодильную камеру и соединяется с терморегулирующим вентилем, установленным на входе в испаритель. Испаритель изготавливается из труб и ребер, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга и присоединенных к трубам. Испаритель оснащен вентилятором для создания вынужденной циркуляции воздуха в камере и поддоном для сбора конденсата.

Из испарителя выходит линия всасывания, которая возвращается к компрессору. Диаметр трубопровода на линии всасывания несколько больше диаметра трубопровода жидкостной линии, поскольку внутри него движется пар. Линия всасывания, как правило, теплоизолируется.

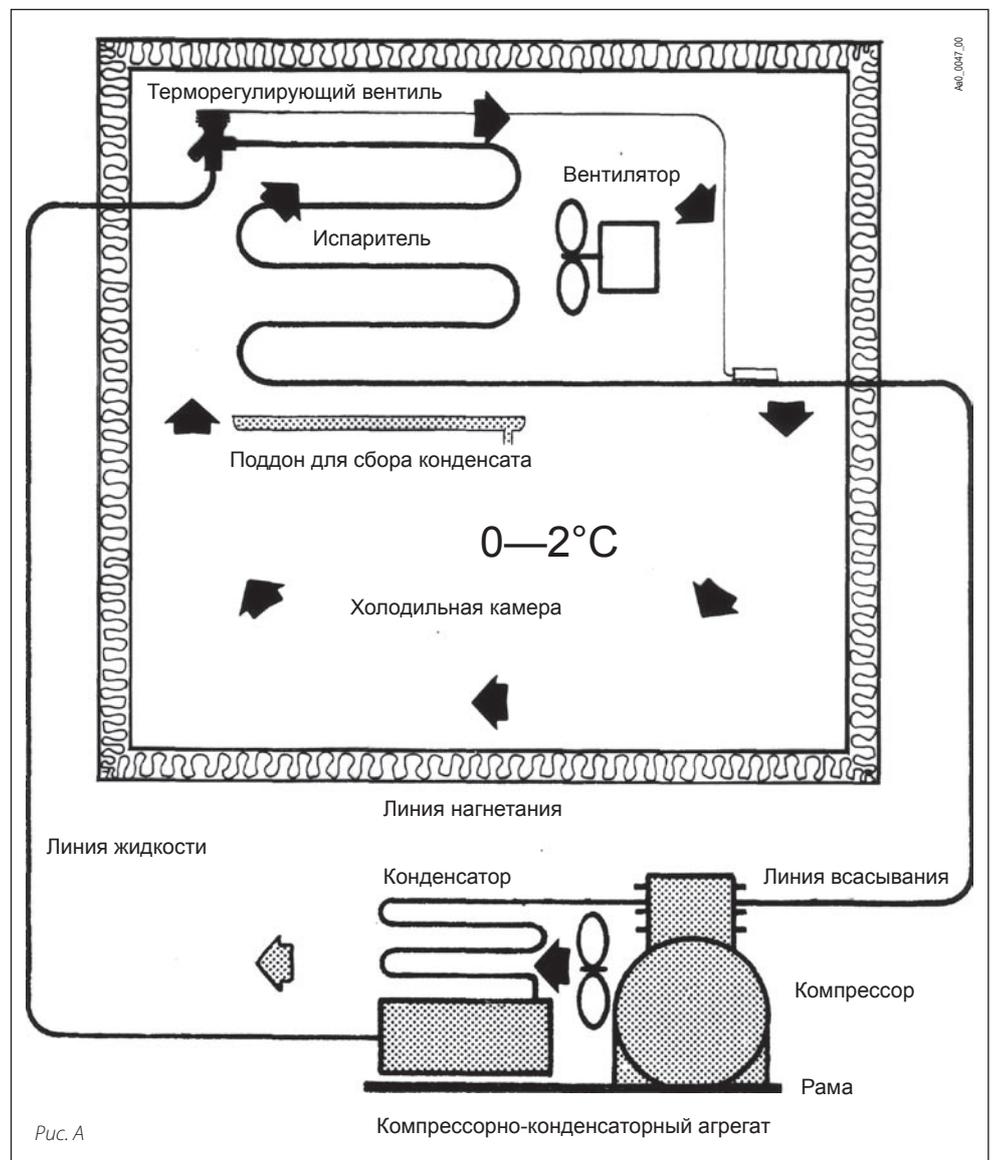


Рис. А

АО, 0647, 00

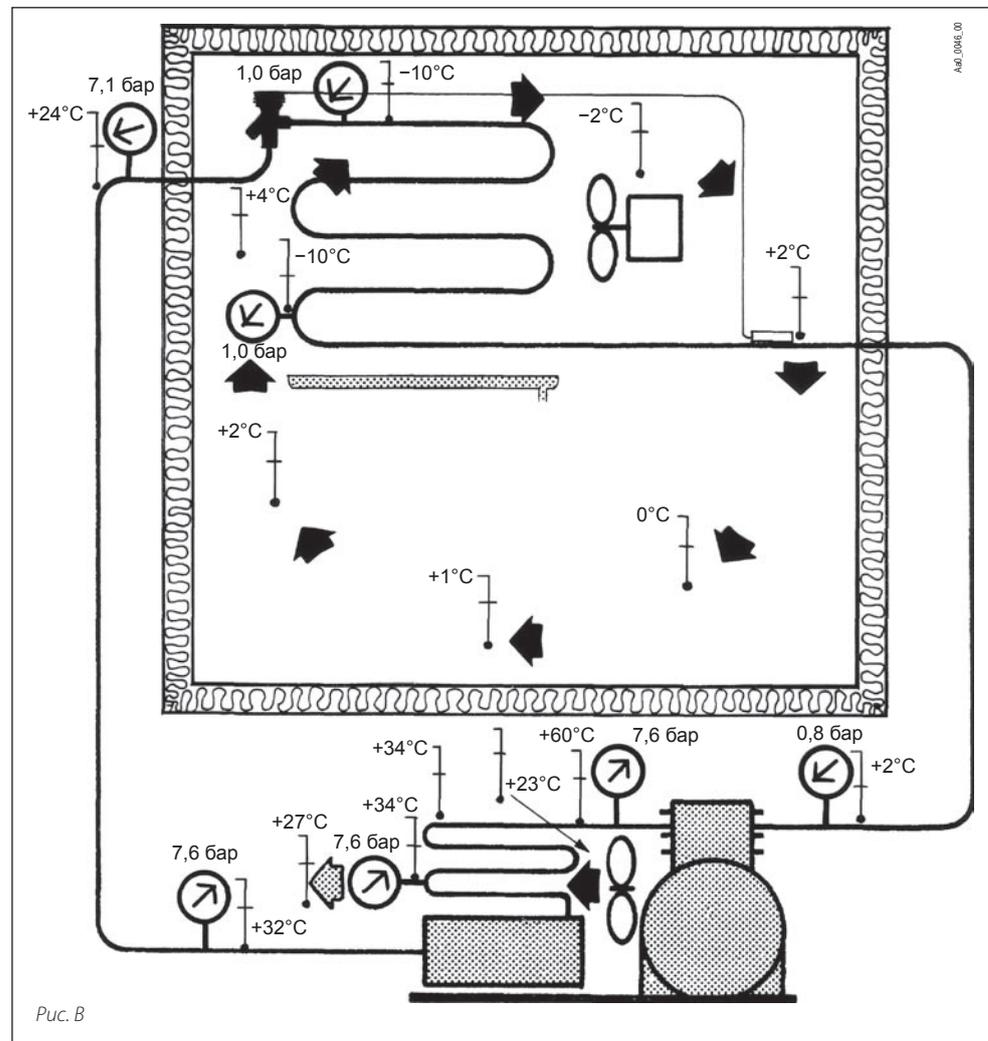
На рисунке В показано распределение температур в холодильной установке. На выходе из компрессора давление составляет 8,5 ата (бар), а температура 60°C , поскольку на линии нагнетания находится перегретый газ. Температура в верхней части конденсатора быстро понижается до температуры насыщения, которая в соответствии с давлением насыщения равна 34°C , поскольку перегрев сведен к нулю и началась конденсация.

Давление на выходе из ресивера остается более или менее на том же уровне, но начинается переохлаждение жидкости, и температура хладагента снижается на 2°C и доходит до 32°C .

В испарителе давление падает до 2,2 ата (бар), а температура кипения до -10°C . На выходе из испарителя пар начинает перегреваться, и температура термобаллона приобретает значение $+2^{\circ}\text{C}$, соответствующее давлению настройки терморегулирующего вентиля.

Как показано на рисунке, температура воздуха в холодильной камере будет изменяться, поскольку воздух забирает тепло в процессе своей циркуляции от продуктов, стен, потолка и т.д. Температура воздуха, обдуваемого конденсатором, также изменяется в зависимости от времени года.

Холодильная установка разрабатывается с учетом максимальной тепловой нагрузки, которая будет на нее действовать. Для обеспечения работы установки при низких тепловых нагрузках должны быть предусмотрены средства изменения ее производительности. Процесс изменения производительности холодильной установки называется процессом регулирования. Он осуществляется с помощью автоматических регуляторов производства компании Данфосс. Но этот вопрос остается за рамками нашей публикации.





ЗАО «Данфосс»

127018, г. Москва, ул. Полковая, д. 13

Тел.: (495) 792-57-57

Факс: (495) 792-57-60

E-mail: ra@danfoss.ru

Internet: www.danfoss.com/russia

Филиал

194100, г. Санкт-Петербург

Пироговская наб., д. 17, корп. 1

Тел.: (812) 320-20-99

Факс: (812) 327-87-82

E-mail: 5102@danfoss.ru

Филиал

630099, г. Новосибирск

ул. Советская, д. 37, офис 405

Тел./факс: (383) 222-58-60

E-mail: 5106@danfoss.ru

Филиал

344006, г. Ростов-на-Дону

ул. Соколова, д. 27, офис 5

Тел.: (863) 299-45-16

Тел./факс: (863) 292-32-95

E-mail: 5112@danfoss.ru

Филиал

690087, г. Владивосток,

ул. Котельникова, д. 2

Тел./факс: (4232) 20-45-10

E-mail: 5113@danfoss.ru

Филиал

620014, г. Екатеринбург,

ул. Антона Валека, д. 15, офис 509

Тел.: (343) 365-83-96

Факс: (343) 365-83-85

E-mail: 5109@danfoss.ru

Филиал

420139, г. Казань,

ул. Вишневого, д. 26, офис 201

Тел./факс: (843) 264-57-53

E-mail: 5105@danfoss.ru